

# EVIDÈNCIES MORFOLÒGIQUES DE PROCESSOS HIPOGÈNICS A CAVITATS DE MALLORCA

per Antoni MERINO <sup>1,2</sup>, Joaquín GINÉS <sup>2,3</sup> i Joan J. FORNÓS <sup>2</sup>

## Abstract

Until very recently, most of the caves in Mallorca were considered to be of epigenic origin, where the endokarst phenomena was mainly originated by the circulation of meteoric waters carrying biogenic CO<sub>2</sub>, and by different speleogenetic mechanisms associated to the littoral mixing zone along with extensive breakdown processes. The breakthroughs achieved along the last years have contributed not only to identify new morphologies, but also to distinguish a new speleogenetic process hitherto unknown in Mallorca: the hypogenic speleogenesis, related to a water recharge of deep origin. To address challenging questions regarding with it, a detailed investigation of suspicious caves harbouring hypogenic evidences was carried out, yielding unexpected data. In this paper, special attention is given to the morphological signs found predominantly in caves located within the south-western sector of Migjorn karst region and surrounding area. The following morphologies have been documented: a morphologic suite of rising flow integrated by feeders, rising wall channels and outlets; dead ends; partitions; the associations of cave rims—vents and bubble trails—folia; as well as likely condensation-corrosion features in the form of bell-holes and small subspherical chambers.

## Resum

Fins fa pocs anys es considerava que la majoria de les cavitats de Mallorca tenien un origen epigènic, en el que les formes endocàrstiques estaven relacionades principalment amb la infiltració d'aigües meteòriques que portaven en dissolució CO<sub>2</sub> d'origen biogènic, i també amb diferents mecanismes espeleogenètics associats a la zona litoral de mescla d'aigües i a importants processos d'esfondrament i reajustament de les voltes. Les noves troballes realitzades en els darrers anys han servit no tan sols per identificar noves formes, sinó que també ens han permès distingir un nou mecanisme espeleogenètic, desconegut fins a la data a Mallorca: l'espeleogènesi hipogènica, relacionada amb una recàrrega hídrica d'origen profund. Amb l'objectiu d'aclarir els possibles dubtes relacionats amb aquesta temàtica, es va dur a terme una recerca detallada a aquelles cavitats susceptibles de presentar evidències dels esmentats processos, donant aquestes investigacions uns resultats inesperats. En aquest treball es posarà un èmfasi especial en les evidències morfològiques, trobades en la seva major part en cavitats situades al sector sudoccidental de la regió càrstica del Migjorn de Mallorca i la seva àrea circumdant. Les formes que s'han documentat són les següents: conjunts morfològics de flux ascendent formats per punts d'alimentació (*feeders*), canals ascendents de paret (*rising wall channels*), i punts de descàrrega (*outlets*); galeries cegues (*dead ends*); envans de roca (*partitions*); els binomis tovera—respirador i canals de desgasificació (*bubble trails*)—folia; així com possibles evidències de processos de condensació-corrosió en forma de cúpules (*bell-holes*) i petites sales subesfèriques.

## Resumen

Hasta hace pocos años, se consideraba que la mayoría de las cavidades de Mallorca tenían un origen epigénico, donde las formas endokársticas estaban relacionadas principalmente con la infiltración de aguas meteóricas llevando en disolución CO<sub>2</sub> de origen biogénico, así como con diferentes mecanismos espeleogenéticos asociados a la zona litoral de mezcla de aguas y a importantes procesos de hundimiento y reajuste de bóvedas. Los descubrimientos realizados a lo largo de los últimos años han servido no solo para identificar nuevas morfologías, sino que también han permitido distinguir un nuevo mecanismo espeleogenético, desconocido hasta la fecha en Mallorca: la espeleogénesis hipogénica, relacionada con una recarga hídrica de origen profundo. Con el objetivo de aclarar las dudas relacionadas con este tema, se llevó a cabo una investigación detallada de aquellas cavidades que pudieran contener evidencias de los citados procesos, dando unos resultados inesperados. En este artículo se pone un énfasis especial en las evidencias morfológicas, halladas mayoritariamente en cavidades situadas en el sector sudoccidental de la región kárstica del Migjorn y en su área circundante. Las morfologías que se han documentado son las siguientes: conjuntos morfológicos de flujo ascendente formados por puntos de alimentación (*feeders*), canales ascendentes de pared (*rising wall channels*), y puntos de descarga (*outlets*); galerías ciegas (*dead ends*); tabiques de roca (*partitions*); los binomios tovera—respiradero y canales de desgasificación (*bubble trails*)—folia; así como posibles evidencias de procesos de condensación-corrosión en forma de cúpulas (*bell-holes*) y pequeñas salas subesféricas.

1 Grup Espeleològic de Llubí (Mallorca).

2 Karst and Littoral Geomorphology Research Group. Universitat de les

Illes Balears. Ctra de Valldemossa, km 7.5. 07122 Palma (Mallorca).

3 Grup Espeleològic EST. Palma (Mallorca).

## Introducció

Fins a dates relativament recents l'espeleogènesi de les cavitats de Mallorca s'havia considerat lligada a processos epigenètics (GINÉS, 1995), on els sistemes endocàrstics es formen principalment per la infiltració directa de les aigües meteòriques carregades de  $\text{CO}_2$  d'origen edàfic i atmosfèric, o per la recàrrega procedent de les formacions superficials i/o dipòsits no carstificables, mostrant sempre una relació amb la topografia exterior. En general les cavitats desenvolupades d'aquesta manera tenen una connexió hidrològica amb la superfície que correspon, normalment, amb les entrades dels mateixos sistemes subterranis. S'hi ha d'afegir a això els processos de distensió mecànica que afecten a les elevacions de les serres mallorquines i que donen lloc a cavitats d'origen mecànic, amb poca o nul·la intervenció dels mecanismes de carstificació. Al mateix temps, i per mor de les característiques geològiques, i especialment litològiques, de les illes que mostren una gran presència de dipòsits tabulars, formats en la seva major part per plataformes de calcarenites d'edat Miocè superior i que es disposen a llarg de bona part de la costa, existeixen uns altres processos espeleogenètics relacionats amb la mescla d'aigües d'origen meteòric i aigües d'origen marí a la franja litoral. Aquests processos duen associada una evolució que implica fases en les que la dissolució dels materials provoca inestabilitats locals que donen lloc a esfondraments i reajustaments en les voltes dels buits generats prèviament, creant sales de col·lapse molt freqüents a l'endocarst de Mallorca (GINÉS *et al.*, 1992; GINÉS & GINÉS, 2007, 2009).

En el decurs dels darrers anys s'han formulat noves teories espeleogenètiques, recolzades per investigacions realitzades en diversos països, on es defineixen nous mecanismes generadors de cavitats que se relacionen amb la circulació transversal de fluids ascendants d'origen profund (KLIMCHOUK, 2007, 2009). L'agressivitat d'aquells fluids correspon a les seves característiques geoquímiques lligades al caràcter profund de la recàrrega (PALMER, 1991, 2000, 2007), que aporta concentracions elevades de  $\text{CO}_2$  no biogènic,  $\text{H}_2\text{S}$  o  $\text{CH}_4$ , a més de tota la munió de processos geoquímics associats al geotermalisme (DUBLYANSKY, 2000, 2005). Es tracta d'un complex entrellat de processos que es designen actualment com a espeleogènesi hipogènica.

Pel que fa referència a l'endocarst de Mallorca, diversos autors ja han deixat constància de l'existència de formes que estarien associades a processos hipogènics en diferents cavitats. Per una part, GINÉS *et al.* (2006) en un estudi sobre la Cova Nova de Son Lluís a Porreres, observen i descriuen la presència de cúpules i morfologies esfèriques que podrien tenir un origen hidrotermal. Posteriorment diversos treballs duts a terme a la Cova des Pas de Vallgornera, a Llucmajor (GINÉS *et al.*, 2008, 2009a, 2009b; GRÀCIA *et al.*, 2009a, 2009b; MERINO *et al.*, 2010; FORNÓS *et al.*, 2011), han aportat noves dades que d'una manera molt aclaridora posen de manifest l'existència de formes que indicarien la participació de processos hipogènics en la gènesi de la cavitat.

A aquest fet se li han d'afegir els estudis duts a terme sobre les anomalies geotèrmiques presents a l'aquífer de la plataforma de Llucmajor (LÓPEZ *et al.*, 2004; LÓPEZ & MATEOS, 2006). Així, els sondeigs de captació d'aigües realitzats en zones properes a aquesta localitat, d'uns 100 m de profunditat, han posat de manifest l'existència d'aigües termals amb unes temperatures que arriben als  $51,6^\circ \text{C}$ . Per als autors esmentats aquests fenòmens hidrotermals estan relacionats amb importants falles normals amb una orientació SW-NE. Aquestes fractures permetrien l'ascens d'aigües termals d'origen profund que a la llarga es mesclarien amb l'aquífer lliure del Miocè superior de la plataforma tabular de Llucmajor i també de la cubeta de Campos. Tots aquests fets han provocat que es dugui a terme una revisió molt més acurada de les cavitats de la zona compresa entre la plataforma de Llucmajor i Campos, a la que hi podríem afegir alguna cavitat de la zona de Manacor i altres del municipi de Porreres. Per tot això, i a l'espera de completar la revisió sistemàtica de l'endocarst desenvolupat en la citada àrea, s'han documentat noves morfologies, espeleotemes i dades que aporten una nova visió sobre la importància i extensió de l'espeleogènesi lligada a processos d'origen hipogènic i hidrotermal a l'illa de Mallorca. Aquest conjunt de formes documentades fins a l'actualitat està constituït, per una banda, per un conjunt de formes relacionades amb fluxos ascendants –*morphologic suite of rising flow*– integrat per punts d'alimentació (*feeders*), morfologies de sostre i paret, així com per punts de descàrrega (*outlets*) (KLIMCHOUK, 2007, 2009; MERINO *et al.* 2010). A aquest conjunt se'ls hi hauria d'afegir uns espeleotemes denominats toveres (*cave rims*) i respiradors (*vents*), que estan relacionats amb moviments convectius de l'aire entre diferents nivells de la cavitat (MERINO, 2006).

Per altra banda hi haurien els solcs de desgasificació, *bubble trails* (PALMER, 2007), que presenten similituds morfològiques amb els canals ascendants de paret, *rising wall channels*, però en els que la seva gènesi està lligada a fluids ascendants en els que s'hi ha produït un alliberament gasós de  $\text{CO}_2$  en condicions evidentment freàtiques (CHIESA & FORTI, 1987; AUDRA *et al.*, 2002, 2009a, 2009c). Relacionat amb aquest mecanisme de generació de bombolles de  $\text{CO}_2$ , s'ha posat en evidència l'existència d'un espeleotema denominat *folia* amb una morfologia molt peculiar i inconfusible (HILL & FORTI, 1997; PALMER, 2007). Aquest binomi *bubble trails* – *folia* n'és una clara indicació dels processos d'espeleogènesi hipogènica produïda per desgasificació de  $\text{CO}_2$  (AUDRA *et al.*, 2009a).

Finalment, s'han trobat formes esfèriques i cúpules a sostres de cavitats en les que la seva gènesi podria estar associada amb fenòmens convectius i de condensació–corrosió, induïts per la presència de llacs subterranis d'aigües més o menys calentes que provocarien l'existència de cèl·lules convectives que intercanviarien calor i aigua entre zones diferents de la cavitat (AUDRA *et al.*, 2007). L'aire calent i humit que ascendeix des de la superfície del llac es refreda en entrar en contacte amb les parets i els sostres produint condensació. Aquesta aigua a la vegada es capaç de dissoldre quantitats variables de  $\text{CO}_2$  procedent de l'atmosfera de la cova,



provocant l'increment de la seva agressivitat i, en estar en contacte íntim amb la roca calcària, la va dissolent (DREYBRODT *et al.*, 2005). Els majors fenòmens de condensació –i el desenvolupament més evident de les esferes i cúpules– es donen als sostres de les galeries o pous d'aquelles cavitats que contenen llacs d'aigües termals i estan properes a la superfície, al ser els llocs on existeix una major diferència de gradient tèrmic. La presència de cúpules és un fet molt comú en les cavitats d'origen hidrotermal o hipogènic en general (OSBORNE, 2004) i acostumen anar acompanyades d'altres evidències que remarquen aquesta possible gènesi, tals com les regates de corrosió (*wall notches*), concavitats de sostre (*ceiling pockets*), ponts de roca (*rock bridges*) etc. Existeixen altres treballs a la literatura científica, en relació amb l'origen d'aquestes morfologies subesfèriques, que postulen la dissolució per aigües termals (BAC-MOSZASWILL & RUDNICKI, 1978; RUDNICKI, 1978; DUBLYANSKY, 1980), o la dissolució per convecció produïda per fluids amb diferents gradients de densitat en condicions freàtiques (CURL, 1966). És possible que tant les cúpules com les formes esfèriques siguin poligèniques i que la seva formació estigui lligada a més d'un procés, depenent de cada situació particular (OSBORNE, 2004). Per altre banda, altres autors (MYLROIE & MYLROIE, 2009) han posat en dubte el caràcter diagnòstic de bona part de les formes atribuïdes a l'espeleogènesi hipogènica, al estar també representades en ambients freàtics de poc dinamisme, com és el cas de la carstificació litoral associada amb la zona de mescla marina; de totes maneres, el caràcter hipogènic d'algunes formes específiques, com son els canals ascendents i *bubble trails*, resulta força evident i per tant difícil de qüestionar.

Figura 1: Cova des Pas de Vallgornera. Grup de tres respiradors que presenten les seves parets calcàries recobertes d'un nivell d'alteració i dipòsits minerals. S'hi poden observar toveres formades per unes cristallitzacions de color blanc al voltant de la seva boca. (Foto A. Merino).

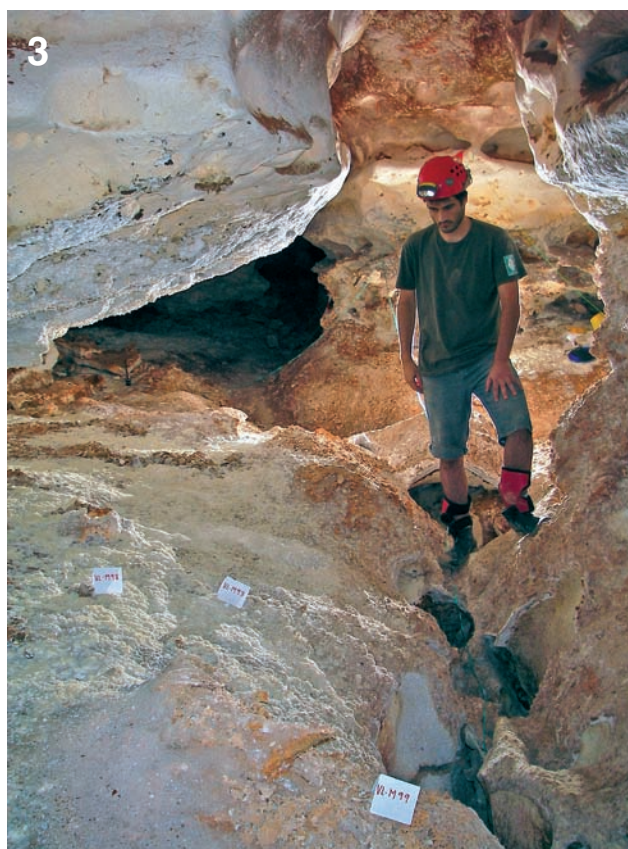
Figure 1: Cova des Pas de Vallgornera. Group of three vents showing their walls covered in weathered limestone and mineral deposits. Cave rims formed by white crystallizations can be clearly seen around their lips. (Photo A. Merino).

Figura 2: Antic punt d'alimentació (*feeder*) situat en el terra d'una galeria de la Cova des Pas de Vallgornera. Actualment es tracta d'un respirador (*vent*) que en fases anteriors i en condicions freàtiques va actuar com a punt d'alimentació (*feeder*). S'hi pot apreciar la seva forma tubular i els dipòsits multicolors adossats a les seves parets. Es tracta d'un fet molt comú a la cavitat on és molt fàcil trobar nombrosos exemples. (Foto A. Merino).

Figure 2: Former feeder located in the floor of a passage in Cova des Pas de Vallgornera. Currently it is a vent that in former stages and in phreatic conditions acted as a feeder. Its tubular shape is clearly seen as well as ferromanganese deposits coating the walls. This assemblage is quite common and it is widely represented throughout the cave. (Photo A. Merino).

Figura 3: Fractura sobre la que s'observa un conjunt de punts d'alimentació (*feeders*), en el trespol d'una galeria de la Cova des Pas de Vallgornera. (Foto A. Merino).

Figure 3: Group of feeders developed along a fissure in the floor of a gallery in Cova des Pas de Vallgornera. (Photo A. Merino).



## La dicotomia canals ascendants de paret, *rising wall channels*, i *bubble trails*

A treballs anteriors publicats sobre les diferents formes de corrosió existents a la Cova des Pas de Vallgornera, es fa menció dels *bubble trails* (GINÉS *et al.*, 2008, 2009a, 2009b; GRÀCIA *et al.*, 2009a, 2009b). Es tracta d'uns canals de dissolució desenvolupats sobre les parets verticals o sobreplomades, i que han estat provocats per l'alliberació gasosa de CO<sub>2</sub> en condicions evidentment freàtiques (CHIESA & FORTI, 1987), com a conseqüència de la disminució de la pressió en anar decreixent la profunditat durant l'ascens de les aigües d'origen profund, carregades amb diòxid de carboni en dissolució. Aquest alliberament de gas dissolt es produeix a una profunditat determinada per a una concentració donada de CO<sub>2</sub> (PALMER & PALMER, 2000; PALMER, 2007), la qual cosa suposa que per a concentracions mitjanes de gas la formació de bombolles s'acostuma a produir pocs metres per davall del nivell freàtic. Això implica que les formes ascendants de dissolució tipus *bubble trails* es deuen produir en nivells clarament estratificats, a no ser que s'hagin estat produïnt de forma continuada en el temps amb diferents cotes del nivell freàtic. Aquesta estratificació no es dona de forma clara i inequívoca a la cavitat, ja que les formes de dissolució ascendent es troben pràcticament en tots els nivells i cotes, tan en els sectors subaquàtics, situats uns quants metres per davall del nivell de l'aigua, com en la zona de fluctuació del nivell freàtic, uns quants metres per damunt d'aquest; i també presenten un desenvolupament molt significatiu en el nivell superior de la cavitat que va des dels +5 fins als +10 m sobre el nivell freàtic actual; podem afirmar, per tant, que presenten una àmplia distribució vertical al llarg de tota la cova. Per altra banda, i pel que fa referència a les diferents formes i mides dels canals ascendants de dissolució, aquests no mostren un determinat patró per a un nivell concret sinó que, tal i com succeeix amb la seva distribució, es presenten combinats en tots els sectors de la cavitat.

Segons AUDRA *et al.* (2002) la pèrdua de CO<sub>2</sub> en un fluid ascendent donaria lloc a una aigua supersaturada en CaCO<sub>3</sub> la qual cosa provocaria la precipitació de tot un seguit de dipòsits i espeleotemes:

- Entre aquests i donada la seva particular relació amb les *bubble trails* destacarien les *folia*, amb una forma inconfusible i on la seva presència sembla estar quasi exclusivament relacionada amb un context hipogènic que inclouria l'alliberament de bombolles de diòxid de carboni a poca profunditat (AUDRA *et al.*, 2009a). L'aspecte d'aquest espeleotema és conseqüència, per una banda, d'una forta pèrdua de CO<sub>2</sub> que té lloc per davall del nivell freàtic, així com de l'existència de parets sobreplomades i el confinament de bombolles de diòxid de carboni que provoca la precipitació de calcita als voltants de les mateixes.
- Pinacles coral·loides subaquàtics, *tower coral*.
- Estalagmites còniques subaquàtiques, *cave cones*, i calcita flotant, *cave rafts*.

D'aquests dos últims espeleotemes, només s'han localitzat a la Cova des Pas de Vallgornera alguns exemplars d'estalagmites còniques subaquàtiques i acumulacions de calcita flotant, de forma majoritària d'origen vadós, en punts concrets i quasi sempre relacionats amb *gours* que tenen les seves aigües sobresaturades en carbonat càlcic. Els pinacles coral·loides subaquàtics han estat trobats, de moment, tan sols en un tram de la Galeria del Tragus (MERINO *et al.*, 2008), on hi ha una espècie de cubeta, actualment seca, amb les parets recobertes d'una capa d'aragonita que es va dipositar en règim freàtic (MERINO, 2006). Fins ara no s'ha localitzat cap exemplar ni conjunt de *folia*, en tots els més de 65 km de recorregut que té la cavitat (GRÀCIA *et al.*, 2009a). Tot això, juntament amb l'omnipresència en tots els nivells dels canals ascendants de corrosió i la manca de dipòsits massius de calcita flotant en les seves diferents formes, du a pensar que la gènesi de la major part d'aquestes formes estaria relacionada amb l'ascens de fluxos hipogènics molt agressius, més que amb l'alliberament de bombolles de diòxid de carboni. Tot i això, és molt probable que en alguns estadis durant tota la prolongada gènesi de la cavitat s'hagin produït fenòmens d'alliberament de bombolles de CO<sub>2</sub> procedents d'aigües profundes. Per contra a la Cova de s'Ònix, s'ha pogut documentar la presència de *folia* i d'un grup de canals de desenvolupament ascendent, que es presenten tan sols a un nivell concret de la cavitat i que es podrien correspondre clarament amb *bubble trails*.

## Les cavitats amb evidències hipogèniques

Els fenòmens endocàrstics que fins avui presenten plausibles evidències d'aquests processos es localitzen, pràcticament en la seva totalitat, en el sector meridional de Mallorca, concretament en la plataforma de Llucmajor i la seva extensió vers la cubeta de Campos, així com en algunes elevacions properes a aquesta àrea. Tan sols una cavitat es localitza fora d'aquestes zones, a les rodalies de Portocristo. Les localitats investigades i les evidències observades les passem seguidament a descriure.

### COVA DES PAS DE VALLGORNERA (Llucmajor)

Aquesta cova és en l'actualitat el fenomen espeleològic de major extensió a la illa de Mallorca, superant els 65 km de desenvolupament, i està situada a la Marina de Llucmajor en la zona costanera que s'estén des de Cala Pi a s'Estanyol. S'inicia amb una successió de sales que arriben al nivell freàtic i que comuniquen amb unes espectaculars galeries aquàtiques, que a la vegada connecten amb un sector format per grans sales; des d'aquest punt, es desenvolupen tot un seguit de conductes laberíntics de diferents dimensions, existint també galeries de gran longitud estructurades sobre fractures de direcció NW-SE. En línies generals la cavitat s'estructura en tres nivells clarament diferenciats, un situat al voltant del nivell freàtic amb abundants galeries



inundades, un altre a uns 11 m sobre l'anterior on són abundants les xarxes laberíntiques de galeries, així com un tercer format per passatges subaquàtics.

Aquesta cavitat conté un nombre important de formes certament peculiars entre les que s'hi troben les toveres, *cave rims*, i els respiradors, *vents*, que es troben distribuïts per diferents sectors (Figura 1). Les toveres són projeccions minerals amb aspecte de copinya que presenten dues cares netament diferenciades: el costat orientat cap a la galeria és rugós i amb textura lleugerament coral·loide, mentre que el localitzat prop del respirador és llis i mostra en la seva superfície clares evidències de corrosió. Les toveres es desenvolupen normalment sobre la part superior d'una altra forma que denominem respirador, que consisteix en un estret tub, quasi sempre impenetrable, que uneix dos nivells diferents de galeries. Les parets dels respiradors són llises i estan cobertes de roca calcària molt alterada i diversos precipitats minerals (MERINO *et al.*, 2009a, 2009b).

En aquesta cova s'han documentat els millors exemples de conjunts morfològics de flux ascendent, *Morphologic Suite of Rising Flow* (KLIMCHOUK, 2007, 2009), formats per punts d'alimentació (*feeders*), formes de sostre i paret (*rising and ceiling channels*) i punts de descàrrega (*outlets*), a més d'altres formes que impliquen una gènesis similar com són les galeries cegues (*dead ends*) o els envans de roca (*partitions*) (MERINO *et al.*, 2010; FORNÓS *et al.*, 2011).

#### Punts de alimentació (*feeders*)

Es tracta de conductes, en general verticals o subverticals, mitjançant els quals els fluids més lleugers i agressius circulen en sentit ascendent des d'un nivell basal o inferior fins a un altre situat directament per sobre d'ell. Aquesta forma es localitzaria en la part inferior del sistema de flux transversal (KLIMCHOUK, 2007).

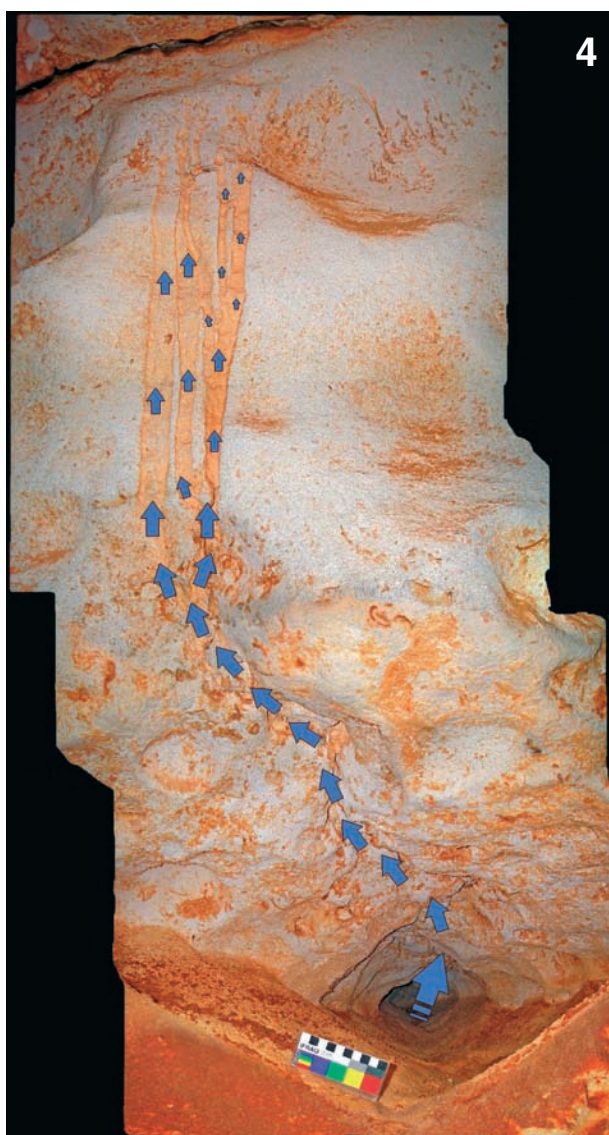
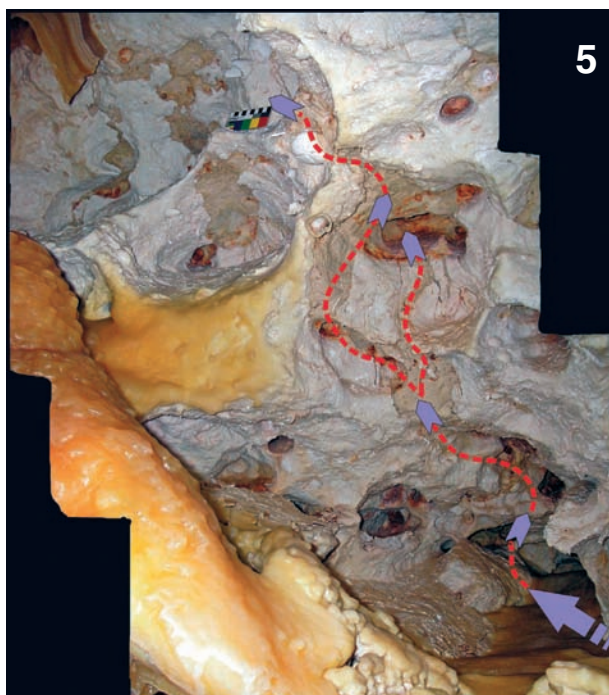


Figura 4: Punt d'alimentació (*feeder*) lateral a la Cova des Pas de Vallgornera. En la foto s'hi pot apreciar un complet conjunt de formes hipogèniques de flux ascendent. Les fletxes indiquen la direcció dels fluxos hipogènics en tot el seu recorregut. (Foto A. Merino).

Figure 4: Side feeder in Cova des Pas de Vallgornera. A complete set of hypogenic morphologies of rising flow is plainly observed. Arrows indicate the hypogenic flow direction along its path. (Photo A. Merino).

Figura 5: Cova des Pas de Vallgornera. Canals ascendents de dissolució que afecten a un conjunt de *wall pockets* i *ceiling pockets*. Es pot apreciar com des d'un petit punt d'alimentació (*feeder*) lateral, s'ha generat un canal (es pot observar clarament tot el seu recorregut pel canvi de color) que recorre el sostre i penetra en una petita concavitat on el flux és concentrat dins la zona més voltada; es crea així un nou solc que el comunica amb una concavitat veïna, repetint-se en diverses ocasions el mateix procés. Les fletxes indiquen la direcció dels fluxos hipogènics en tot el seu recorregut. (Foto A. Merino).

Figure 5: Cova des Pas de Vallgornera. A group of wall pockets and ceiling pockets affected by rising wall channels. It can be seen how from a side feeder a channel has been excavated (it is clearly visible along its way due to the change in colour). The channel covers the ceiling and penetrates into a concavity where the flow is concentrated on the most vaulted area, generating a new groove that puts it in communication with a nearby concavity; this process is repeated several times. Arrows indicate the hypogenic flow direction along its path. (Photo A. Merino).





En aquesta cavitat aquest conjunt de formes es troba representat pels *feeders* puntuals, *feeders* amb aspecte d'esquerda o fractura i *feeders* laterals. Aquestes formes es desenvolupen en general en el trespel de galeries i estan distribuïts de forma aïllada per nombrosos punts de la cova.

Els *feeders* puntuals (Figura 2) acostumen a presentar una boca d'aspecte el·líptic i en alguns casos circular; les seves dimensions són molt variables anant des d'uns pocs decímetres fins a 1 m de diàmetre major. La part interna presenta una forma tubular d'aspecte irregular. Els *feeders* amb aparença de fractura o esquerda



Figura 6: Canals ascendents de dissolució generats a partir d'una fractura en una paret sobreplomada de la Cova des Pas de Vallgornera. Les fletxes indiquen la direcció dels fluxos hipogènics durant el seu recorregut. (Foto A. Merino).

Figure 6: Rising wall channels generated from a fracture on an overhanging wall in Cova des Pas de Vallgornera. Arrows indicate the hypogenic flow direction along its path. (Photo A. Merino).

Figura 7: Cova des Pas de Vallgornera. Canals ascendents de dissolució de petita longitud desenvolupats a partir de petits punts en les parets de les diferents concavitats. (Foto A. Merino).

Figure 7: Cova des Pas de Vallgornera. Short rising solutional channels developed from tiny points located in wall pockets. (Photo A. Merino).



Figura 8: Espectacular canal de sostre amb nombroses cúpules i concavitats associades. S'hi pot observar com una diàclasi ben visible al sostre d'una galeria de la Cova des Pas de Vallgornera, en condiciona el desenvolupament del canal i de les cúpules. Les fletxes indiquen la direcció dels fluxos hipogènics durant el seu recorregut. (Foto A. Merino).

Figure 8: Stunning ceiling channel with a great deal of associated cupolas and pockets. The visible fracture in the ceiling of a passage in Cova des Pas de Vallgornera rules the channel and cupolas development. Arrows indicate the hypogenic flow direction along its path. (Photo A. Merino).

Figura 9: Canal de sostre molt evident condicionat per l'existència d'una fractura. Cova des Pas de Vallgornera. (Foto A. Merino).

Figure 9: Particularly pronounced ceiling channel controlled by a fracture. Cova des Pas de Vallgornera. (Photo A. Merino).



(Figura 3) arriben a tenir alguns metres de longitud, i es perllonguen al llarg de nombroses galeries on formen el trespòl irregular de les mateixes, arribant en alguns casos a tenir fins a 1 m d'amplada.

En la zona de la cavitat coneguda com a Sector F, situada uns 5 m per sobre del nivell freàtic, s'han localitzat galeries que es troben superposades sobre unes altres del Sector del Clypeaster (MERINO *et al.*, 2008);

aquelles presenten en el trespòl conjunts de *feeders* puntuals i altres de tipus fractura que posarien en comunicació ambdós nivells de galeries a través dels *outlets* localitzats en el sostre de les galeries del nivell inferior.

Finalment els *feeders* laterals (Figura 4) estan distribuïts per quasi tots els sectors de la cavitats i en els seus diferents nivells. Es tracta de formes localitzades en les parets de les galeries a diferents altures, forma-

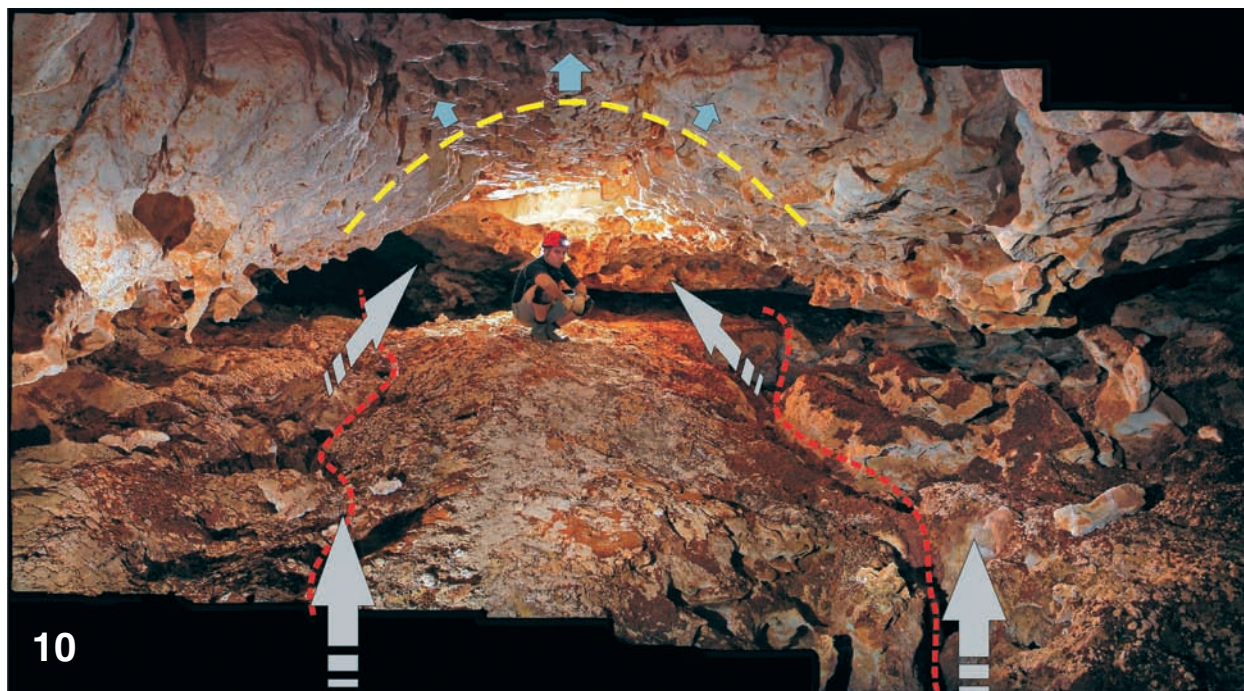


Figura 10: Cova des Pas de Vallgornera. Canal de sostre de dimensions considerables que presenta un avançat estat de desenvolupament per la individualització dels *pendants*. En el trespòl, a ambdós costats de la foto s'hi poden apreciar dos punts d'alimentació relacionats amb fissures (*fissure-feeders*) que es prolonguen uns quants metres al llarg de la galeria. Les fletxes indiquen la direcció dels fluxos hipogènics durant el seu recorregut. (Foto A. Merino).

Figure 10: Cova des Pas de Vallgornera. Ceiling channel of considerable dimensions showing a late stage of development with isolated pendants. Two fissure-feeders that extend several metres along the passage floor can clearly be seen both sides of the photo. Arrows indicate the hypogenic flow directions along its path. (Photo A. Merino).



Figura 11: Anastomosis de canals de sostre i *pendants* individualitzats a una galeria de la Cova des Pas de Vallgornera. (Foto A. Merino).

Figure 11: Anastomoses of ceiling channels and isolated pendants in a passage of Cova des Pas de Vallgornera. (Photo A. Merino).





Figura 12: Conjunt de cúpules i punts de descàrrega (*outlets*) de mida petita en el nivell superior de la Cova des Pas de Vallgornera. Les cúpules de major mida representen exemples de punts de descàrrega poc desenvolupats (*underdeveloped outlets*) ja que són formes tancades sense continuïtat cap a nivells superiors. (Foto A. Merino).

Figure 12: Group of cupolas and small-scale outlets located at the upper level of Cova des Pas de Vallgornera. The largest cupolas provide examples of underdeveloped outlets on account of being closed morphologies with no continuities to upper levels. (Photo A. Merino).

Figura 13: Punt de descàrrega (*outlet*) de mitjana dimensió situat a pocs metres sobre el nivell freàtic actual de la Cova des Pas de Vallgornera, vist de forma vertical des de la seva part inferior. A les parets s'hi observa un grup de canals de dissolució ascendents estrets. (Foto A. Merino).

Figure 13: Medium-sized outlet located a few metres above the current phreatic level of Cova des Pas de Vallgornera, viewed vertically from below. An assemblage of tiny rising channels is seen on the walls. (Photo A. Merino).

des per conductes de dimensions variables, que poques vegades excedeixen 1 m d'eix màxim, essent la seva part més interior de dimensions menors que la part externa. És possible observar com el conducte desenvolupat des d'un punt en el interior de la roca va guanyant amplada i altura fins arribar a la galeria. La secció d'aquests tubs és variable, trobant-se des de formes més o menys circulars, subrectangulars fins a romboïdals; a sostre d'aquests conductes existeix un solc que a modus d'esquerda o canal posa en comunicació la part més interna d'aquesta forma amb la paret de la galeria.

### Formes de sostre i paret: canals ascendents de paret (*rising wall channels*), cúpules i canals de sostre (*ceiling channels*)

Les formes de sostre i parets inclouen entre d'altres, canals ascendents de dissolució (*rising wall channels*), cúpules i canals de sostre (*ceiling channels*); aquestes estructures connecten els *feeders* amb els *outlets*, essent per tant formes que indiquen un flux en sentit ascendent (KLIMCHOUK, 2007). Aquestes formes són molt abundants en tota la cavitat, on hi destaca l'abundància de canals de sostre en el nivell superior de la cova.

Els *rising wall channels*, canals ascendents de dissolució, ja van ser descrits en aquesta cavitat (GINÉS *et al.*, 2008, 2009a, 2009b; GRÀCIA *et al.*, 2009a, 2009b). Es tracta d'estructures de dimensions molt variables que posen en comunicació els *feeders* amb els *outlets* o amb diferents tipus de cúpules (Figura 4). Els conjunts més característics estan formats per un *feeder* lateral, i presenten en el seu sostre un solc que en forma d'esquerda el recorre en tota la seva longitud des de la seva part més interna; té una forma sinuosa i la seva profunditat és molt variable. En arribar a la zona més exterior i trobar-se amb l'angle de la paret, el solc esdevé més profund, arribant fins als 60 mm de profunditat. A partir d'aquest punt i per sobre de la boca del *feeder*, es configura un canal o conjunt d'ells que de manera ascendent van desenvolupant-se al llarg de la paret, observant-se sovint com aquests canals entren en coalescència els uns amb els altres. La seva forma i dimensions van variant d'acord amb l'angle que presenta el pla de la paret respecte a la vertical. S'observa com en les parets que presenten un angle força sobreplomat és major l'amplada i sobretot la profunditat, a la vegada que la longitud dels canals augmenta, arribant a tenir més de 1 m de longitud per uns 35 mm d'amplada i profunditats màximes que oscil·len entre els 22 i 25 mm. En fer-se la paret més vertical els canals van perdent profunditat i amplada, desapareixent totalment quan el pla de la mateixa es disposa de forma subvertical. En els casos en els que la geometria de la paret ho permet, els canals ascendents arriben a comunicar amb els *outlets* situats al sostre. Ocasionalment la trajectòria dels canals ascendents, en el seu recorregut des de les zones d'alimentació fins a les zones de descàrrega, queda interrompuda per l'existència de petites cúpules a les que hi arriben un o varis canals i de les que hi acostuma a sortir un de sol, però presentant aquest sempre una major profunditat.

Un altre conjunt de canals ascendents característic i que es repeteix al llarg de nombrosos punts de la cavitat, és el format en zones on les parets estan cobertes



d'abundants concavitats poc marcades, *subdued pockets* (GRÀCIA *et al.*, 2005; MERINO, 2006), *wall pockets* i *ceiling pockets* (Figura 5) que en ocasions entren en coalescència donant lloc a *composed pockets* (GRÀCIA *et al.*, 2009b). Partint d'un *feeder* lateral existeix un canal de dimensions variables que recorre les parets de les concavitats, que en arribar a la zona més voltada, crea unes cúpules de corrosió que afecten a una bona part del sostre d'aquestes galeries. D'aquí s'obre un nou canal més profund i de menor amplada que talla l'angle existent entre dues formes contigües, creant de nou un solc que recorre la següent concavitat. Aquesta combinació de formes es pot repetir varies vegades en funció de la densitat de les concavitats existents. En tots els casos, aquest canals ascendents així com les cúpules estan molt marcats i diferenciats de la resta de la paret, degut a canvis de color produïts per la corrosió que ha actuat sobre les parets cobertes de formes de reconstrucció, colades parietals, o bé sobre parets que presenten un cert grau d'alteració com a conseqüència d'haver estat per davall del nivell freàtic durant determinats períodes.

A més, s'han localitzat una sèrie de conjunts de canals ascendents que es desenvolupen a partir de plans de fractures, que cobreixen en alguns casos amplies zones de les parets de les galeries (Figura 6). Es tracta de solcs de dimensions variables que rarament arriben a presentar dimensions centimètriques en les seves amplada i profunditat, al contrari del que passa amb la seva longitud que pot superar 1 m de recorregut (GRÀCIA *et al.*, 2009b). Es disposen de forma paral·lela i en ells s'hi observen fenòmens de coalescència. La característica més peculiar, i que els distingeix de la resta de canals, és que aquests neixen aparentment d'esquerdes i fractures molt estretes i també des de juntes d'estratificació; aquestes formes queden exposades al caure blocs o ensorrar-se les parets. El seu recorregut al llarg dels plans sobreplomats de les parets acaba en molt casos en una nova esquerda o fractura per on desapareixen. S'ha posat en evidència la presència d'aquest tipus de canals ascendents, que en molts casos passa quasi desapercebuda, en nombrosos

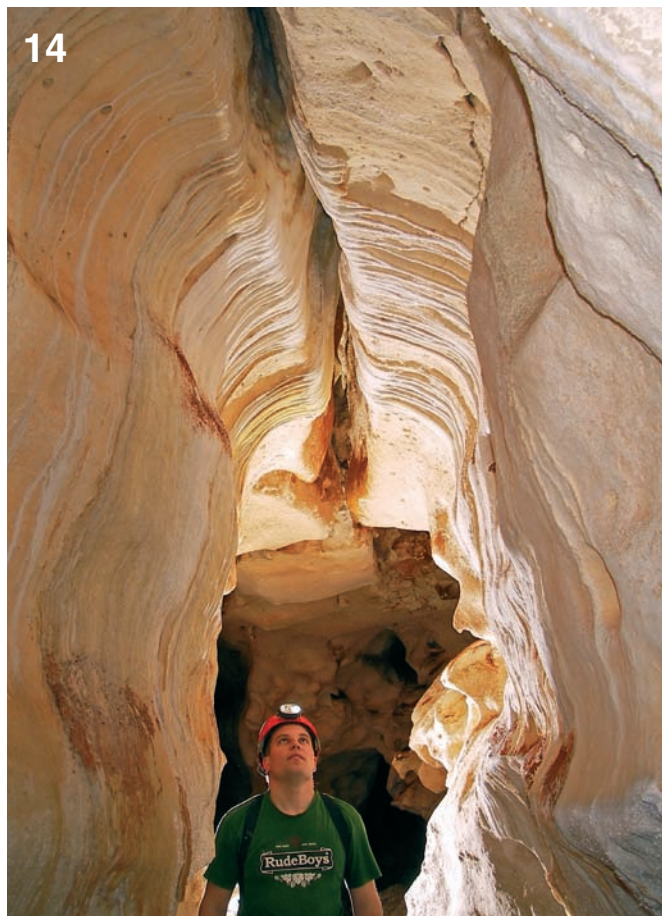


Figura 14: Típica forma de desguàs que aprofita una fractura situada al llarg del sostre d'una galeria que actua como un punt de descàrrega (*outlet*) longitudinal. Aquesta forma és molt comuna en tota la Cova des Pas de Vallgornera. (Foto A. Merino).

Figure 14: Typical pattern of discharge that benefits from a fracture located along a ceiling passage and acts as an elongated outlet. This morphology is very common throughout the Cova des Pas de Vallgornera. (Photo A. Merino).

Figura 15: Cova des Pas de Vallgornera. Galeria cega (*dead end*) de petites dimensions que acaba de forma brusca. Al sostre és visible un punt de descàrrega (*outlet*); al trespol no s'hi observen formes, al estar cobert d'una capa de colada. (Foto A. Merino).

Figure 15: Cova des Pas de Vallgornera. Dead end, consisting in a small passage ending in an abrupt way. An outlet is observable in the ceiling; the floor does not show any morphology due to the presence of carbonate deposits. (Photo A. Merino).





Figura 16: *Partition* a la Cova des Pas de Vallgornera. Envà de roca que presenta un aspecte de tascó. (Foto A. Merino).

Figure 16: *Partition* in Cova des Pas de Vallgornera. Wedge-shaped rock separation. (Photo A. Merino).



Figura 17: Nombroses concauats petites de dissolució cobreixen la paret inclinada d'una galeria, a la Cova des Pas de Vallgornera; també hi són clarament visibles un punt d'alimentació lateral (*feeder*) i el seu corresponent canal ascendent, la zona més interna del qual presenta unes parets totalment cobertes de concauats amb un major desenvolupament. (Foto A. Merino).

Figure 17: Great variety of small solutional hollows affecting an overhanging wall in a passage of Cova des Pas de Vallgornera. At the same time a side feeder as well as its rising wall channel, whose inner part is covered by larger hollows, are clearly seen. (Photo A. Merino).

punts de la cova trobant-se associat a llocs on s'han produït desprendiments de blocs de les parets. Aquest fet fa pensar en el paper que juga aquest tipus de forma de corrosió en la morfogènesi de la cavitat, ja que la dissolució preferencial que ha tingut lloc al llarg de les esquerdes i fractures que afecten a la roca encaixant, pot haver provocat zones d'inestabilitat local que hauran sofert posteriorment desequilibris mecànics que acaben produint esfondraments i trencament de blocs.

Finalment, s'ha observat la presència d'unes formes similars als canals ascendents de paret, però de menor recorregut, ocasionalment inferior al decímetre. Se situen normalment sobre les parets de concauats poc marcades, *subdued pockets*, i sobre *wall pockets* (Figura 7). El inici d'aquests estrets, i ocasionalment, profunds canals a manera d'incisions a la roca, sol ser un punt de dimensions mil·limètriques de la que neix un petit solc que es perllonga en sentit ascendent fins a varis centímetres. Algunes vegades aquests canals conflueixen en una cúpula on se concentren i de la qual neix un nou canal de majors dimensions. Aquest tipus de canal ascendent podria estar controlat per les característiques litològiques dels materials dipositats en les fàcies de *lagoon*. En concret és possible observar com en les zones on es donen aquest tipus de formes la roca presenta una abundància de restes fòssils que integren la matriu de la roca, que a la vegada presenta una major porositat al ser el gra de la mateixa molt més grogler.

Els *ceiling channels*, o canals de sostre (Figura 8), es troben molt ben representats principalment en les galeries que constitueixen el nivell superior de la cavitat. Les galeries que tenen un control estructural accentuat poden presentar formes acanalades que recorren grans trams del sostre de les mateixes (Figura 9). Per altra part, en llocs on el sostre no està afectat per discontinuïtats de la roca, aquestes formes presenten un recorregut molt sinuós amb el sostre completament pla i amplades que arriben a tenir varis decímetres, amb una profunditat variable. En aquest cas, quan els *ceiling channels* són abundants i estan entrellaçats però separats per *pendants* arribant a presentar fenòmens d'anastomosis (Figures 10, 11).

Les cúpules es localitzen al sostre de les galeries i en la part més voltada d'alguns *wall pockets* i *ceiling pockets*; la forma pot ser circular, allargada o presentar formes mixtes entre ambdues (Figura 12). Les seves dimensions són decimètriques arribant algunes d'elles a ordres mètrics. El seu desenvolupament en profunditat és variable i crea en ocasions uns buits importants. Les cúpules aïllades més peculiars presenten uns canals ascendents que penetren per la seva part inferior, donant lloc llavors a un nou canal o conjunt d'ells que surten de la seva part més superior. En altres ocasions, allà on aquestes formes es presenten superposades, el conjunt de canals que les connecta i recorre sol ser sinuós, iniciant-se en la seva zona més baixa i arribant finalment a la part més elevada del conjunt.

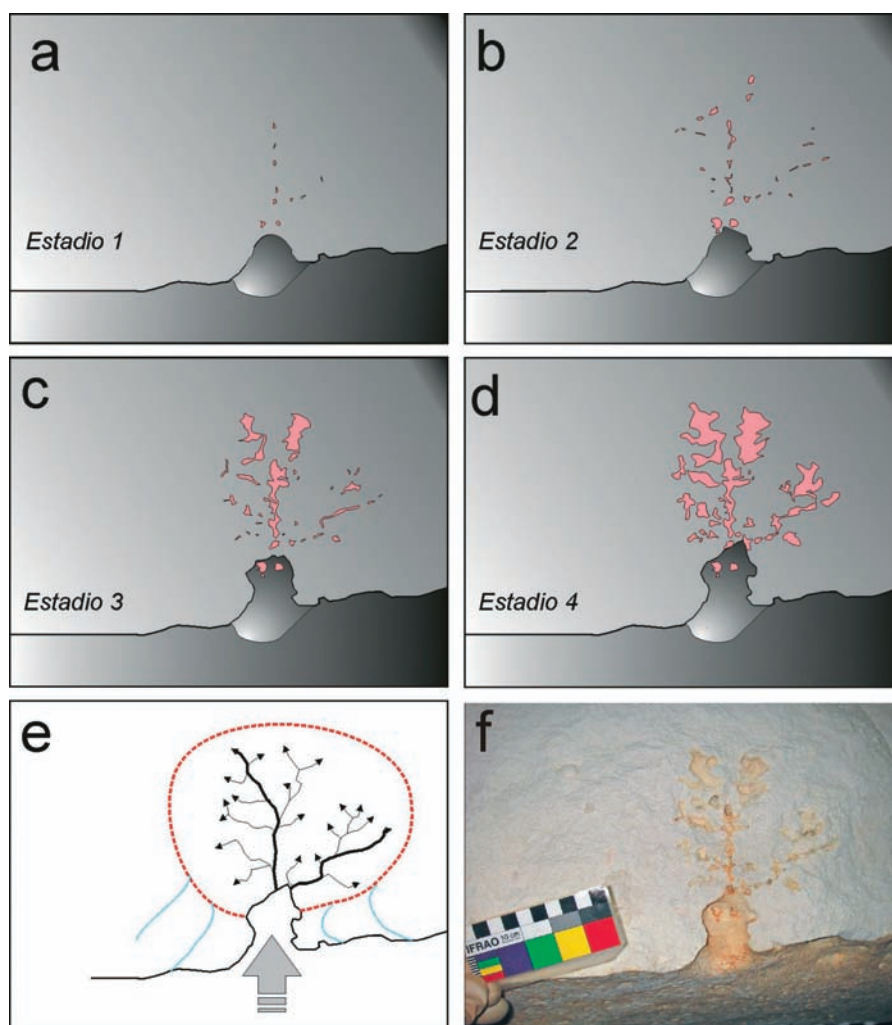
### Punts de descàrrega (*outlets*)

Aquestes formes consisteixen en cúpules i conductes verticals que, partint des del sostre d'una galeria d'un nivell determinat, connecten amb el següent nivell situat sobre ella (KLIMCHOUK, 2007).



Figura 18: Cova des Pas de Vallgornera. Esquema evolutiu d'una concavitat de dissolució ascendent. a) Concavitat de petites dimensions i buits molt petits existents en l'interior de la roca. b), c), d) Diferents estadis evolutius que mostren el creixement de la concavitat tot entrant en coalescència els petits buits que es van desenvolupant a l'interior de la roca. e) Direcció i sentit de la circulació dels fluxos en la concavitat i a la roca. f) Secció d'una concavitat de sentit ascendent on s'hi pot observar com els fluxos han aprofitat la porositat primària de la roca per anar penetrant cap al seu interior, produint la seva dissolució i iniciant una progressió en sentits vertical i lateral d'aspecte dendriforme.

Figure 18: Cova des Pas de Vallgornera. Evolutionary diagram of a small solutional ascending hollow. a) Reduced hollow and small-scale voids within the rock. b), c), d) Different evolutionary stages where the hollow is enlarged, at the same time that small voids coalesce within the rock mass. e) Flow direction through the hollow and rock. f) Cross section of a small ascending hollow where it can be clearly seen how fluids have been benefited from the rock primary porosity to penetrate into it, corroding it and starting a dendritic shaped ascending and lateral progression.



Estan representats per cúpules de parets molt suaus, i principalment per conductes verticals estrets que ascendeixen des del sostre de les galeries i que s'estenen al llarg de les mateixes durant alguns metres (Figures 13, 14). Aquesta forma representa una continuïtat dels *rising wall channels* o canals ascendents de paret. Dins d'aquest conjunt de formes de descàrrega es localitzen *successful outlets* que aconsegueixen posar en comunicació dos nivells de la cavitat, com és el cas descrit abans en el Sector del Clypeaster (MERINO *et al.*, 2008). Per altra part s'han trobat cúpules pràcticament cegues que se correspondrien amb els *outlets* en estadis mitjans de desenvolupament, o *underdeveloped outlets*. Les formes més representatives i abundants estan constituïdes per uns *outlets* estrets i de varis metres de longitud, que aprofiten les fractures existents en el sostre de les galeries.

#### Galeries cegues (*dead ends*) i envans de roca (*partitions*)

Un altre conjunt morfològic associat a les cavitats d'origen hipogènic són les galeries cegues, que acaben en cul-de-sac, *dead ends*, i els envans de roca, o *partitions*. La gènesi d'aquestes formes és difícil d'explicar mitjançant mecanismes relacionats amb fluxos laterals

que afecten a les galeries; per contra encaixen perfectament dins del marc d'un procés generat per fluxos transversals (KLIMCHOUK, 2007, 2009). Els *dead ends* (Figura 15) són galeries que acaben per cegar-se, però que estan obertes a la recàrrega per mitjà de *feeders* en la part més baixa i a la descàrrega per mitjà dels *outlets* localitzats al sostre.

Per altra part els envans de roca (Figura 16) separen galeries adjacents, mostrant una estructura planar. La gruixa és variable, presentant una major amplada en la part superior al contrari de lo que passa en la part més inferior que és molt més prima, el que li dona al conjunt un aspecte de tascó.

#### Altres tipus de concavitats

Si bé els fluxos ascendents es concentren en moltes ocasions en canals que els van guiant cap a zones més elevades (*rising wall channels*) també es pot produir una circulació d'aquests fluids de menor densitat, que afecta de manera generalitzada a les parets i sostres de les galeries així com a les zones on existeixen diferències texturals relacionades amb variacions en la porositat de la roca. Aquesta circulació produeix, depenent de la geometria de les parets de la galeria, uns moviments convectius d'aquests fluxos agressius que provoquen la for-



mació de diferents tipus de concavitats ascendents de dissolució de dimensions variables (Figura 17).

Aquestes cèl·lules convectives anirien produint una dissolució preferencial en una mateixa zona de les parets i sostres, que acabaria provocant un estadi inicial de desenvolupament d'una concavitat. Amb el temps, i sempre que es mantinguessin les mateixes condicions de circulació, la concavitat s'aprofundiria arribant a capturar fluids que iniciarien un procés de dissolució en sentit ascendent (Figura 18), que aprofitaria la marcada porositat primària de la roca per a penetrar més cap a l'interior i d'aquesta manera accelerar el procés erosiu i de debilitament de la zona afectada. Aquest mecanisme sembla ser un important factor a tenir present en els processos d'esfondrament i ajustament mecànic que es produeixen a les galeries en tot l'estadi evolutiu de la cavitat. Tot això provocaria que en estadis més avançats d'aquesta evolució, la massa de roca es veiés afectada per una elevada concentració de concavitats de dissolució, que per coalescència arribarien a donar verdaderes formes espongiformes d'ordre mètric o centimètric (*spongework*).

### COVA NOVA DE SON LLUÍS (Porreres)

Aquesta cavitat va ser descrita en detall per GINÉS *et al.* (2006) y GINÉS & GINÉS (2009), en uns treballs en els que ja es deixava entreveure l'existència d'una sèrie de formes que podrien tenir relació amb processos hipogènics de caràcter hidrotermal. Es tracta d'una cova constituïda per varies grans sales fortament descendents a les que

Figura 19: Cova Nova de Son Lluís. Cúpula de grans dimensions amb parets arrodonides que connecta amb una cúpula de sostre, totes dues localitzades a la part superior de la cavitat. (Foto A. Merino).

Figure 19: Cova Nova de Son Lluís. Big cupola with rounded walls connecting with a ceiling cupola, both located at the upper part of the cave. (Photo A. Merino).

Figura 20: Cova Nova de Son Lluís. Interessant canal de paret desenvolupat al llarg d'una junta d'estratificació, que acaba a una cúpula lateral. (Foto A. Merino).

Figure 20: Cova Nova de Son Lluís. Interesting wall channel developed along a bedding plane that ends in a side cupola. (Photo A. Merino).

Figura 21: Cova de sa Guitarreta. Sala principal on s'hi troben grans acumulacions de blocs produïts per processos d'esfondrament, possiblement induïts per la dissolució hipogènica en profunditat. (Foto A. Merino).

Figure 21: Cova de sa Guitarreta. Main chamber containing a large accumulation of boulders caused by breakdown processes, perhaps induced by hypogenic dissolution occurring in depth. (Photo A. Merino).

Figura 22: Cova de sa Guitarreta. Vista des de la part inferior de la xemeneia. Les parets llises i la cúpula que s'observa a la part superior són formes que podrien estar relacionades amb processos de condensació-corrosió. (Foto A. Merino).

Figure 22: Cova de sa Guitarreta. The chimney view from below. The smooth walls and the dome pit at the top are significant features that could be related to condensation-corrosion processes. (Photo A. Merino).



s'hi accedeix per una sèrie de curioses cavitats subesfèriques, en les que no s'hi distingeixen evidències que permetin relacionar la seva gènesi amb el drenatge en profunditat d'aigües meteòriques; de fet no s'hi observen en aquest sector d'accés les formes habituals lligades a la infiltració de les precipitacions, com són les xemeneies i cavitats verticals típiques de la zona vadosa.

En tot el terç superior de la cavitat s'hi donen uns buits similars a petites càmeres i cúpules, que han entrat en coalescència provocant unes ramificacions tridimensionals formades per elements més o menys esfèrics de entre 0,5 i 8 metres de diàmetre (Figures 19, 23). Aquestes formes presenten unes parets llises pràcticament sense formacions; a la vegada hi són observables alguns envans de petita gruixa que separen les cúpules que s'han anat sobreposant. Ocasionalment les zones que posen en comunicació dues d'aquestes formes esfèriques són estretes, i en general no s'hi observen de manera clara fractures o diàclasis que hi tinguin una relació genètica. Aquestes petites càmeres de dimensions molt regulars serien similars a les descrites per DUBLYANSKY (2000, 2005) i es correspondrien amb cavitats d'origen hipogènic que se relacionen a una carstificació hidrotermal poc profunda. Les formes amb aquestes característiques tenen relació freqüentment amb processos actius de condensació-corrosió, alimentats per l'existència de llacs subterranis d'aigües termals (DUBLYANSKY & DUBLYANSKY, 2000; AUDRA *et al.*, 2009b).

Cap el 30 m de profunditat, la cavitat augmenta de volum donant lloc a una gran sala central en la que predominen els processos d'esfondrament i reajustament mecànic de les voltes, que provoquen l'exposició de potents paquets d'estrats calcaris-dolomítics del Retià, amb un cabussament uniforme d'uns 40° de direcció N80E. En aquests estrats s'hi ha localitzat un canal ascendent d'uns 10 a 15 cm de profunditat y uns 20 cm d'amplada (Figura 20), que aprofitant una junta d'estratificació la recorre al llarg d'uns 5 cm, penetrant lateralment en una forma que actualment es presenta semi-esfèrica; aquesta concavitat globular ha estat posada en evidència gràcies al col·lapse de part dels paquets d'estrats que formen el sostre i les parets de la sala.

Cal assenyalar que en una petita cavitat descoberta a algunes desenes de metres de la Cova Nova de Son Lluís, i que no arriba als 10 m de profunditat, s'han observat també una sèrie de cúpules desenvolupades en el sostre del terç superior de la mateixa, que presenten un diàmetre inferior a 1 m.

### COVA VELLA DE SON LLUÍS (Porreres)

Aquesta cavitat, situada a uns centenars de metres al S de la Cova Nova de Son Lluís, és un fenomen subterrani que arriba als 13 m de profunditat. Està format per una sala amb el trespòl inclinat recobert de blocs i amb una sèrie de massissos estalagmítics i obstruccions de blocs que la compartimenten. El sostre de la primera sala és una lumaquel·la d'edat pliocena, que presenta algunes cúpules incipients no molt desenvolupades; per contra cap a les cotes inferiors, en direcció SW, s'han localitzat diverses cúpules semiesfèriques ben definides d'aproximadament 1 m de diàmetre.

### COVA DE SA GUITARRETA (Llucmajor)

Uns 5 km al S de les manifestacions termals de Païssa es localitza la Cova de sa Guitarreta, que arriba a una profunditat d'uns 58 m. La cavitat està constituïda per un petit pou subvertical d'accés que condueix fins una rampa, la qual gira tot baixant en sentit levogir fins arribar a la base d'una xemeneia d'uns 11 m d'altura. En aquest punt hi ha una finestra que posa en comunicació el punt mencionat amb una sala d'un diàmetre aproximat de 20 m i una altura d'uns 9 m (Figura 21). Baixant entre els blocs que constitueixen el trespòl de la mateixa s'arriba al nivell freàtic en la cota més baixa



Figura 23: Cova Nova de Son Lluís. A: Cúpula lateral aïllada. (Foto A. Merino); B: Algunes seccions de detall de les sales superiors de la cavitat.

Figure 23: Cova Nova de Son Lluís. A: Side isolated cupola. (Photo A. Merino); B: Some detailed profiles of the upper chambers of this cave.





de la cavitat. Aquí hi ha un petit llac que presenta unes aigües amb una temperatura anòmalament alta, 27,1° C (Figura 24), fet aquest que vendria a confirmar la influència hidrotermal en la gènesi de la cavitat, teoria ja insinuada per GINES & GINÉS (2009) els quals apuntaven el seu possible origen hipogènic. A més, la direcció de la fractura principal sobre la que es desenvolupa la cavitat, NNE, ve a coincidir amb l'alineació general de les falles, N060E, relacionades amb les aigües subterrànies que presenten anomalies tèrmiques.

Fins al present, i després de dur a terme una exhaustiva recerca de formes relacionades amb els processos hipogènics, aquestes no s'han trobat. L'única cosa que això semblaria demostrar és que aparentment no ha existit un ascens d'aigües termals agressives, sinó que la carstificació hipogènica d'origen més o menys profund ha anat creant els buits primigenis en profunditat, la qual cosa ha afavorit els esfondraments generalitzats de masses de roques sobrejacentes que han donat lloc a la configuració actual d'aquest fenomen endocàrstic. Finalment cal assenyalar que la xemeneia, que s'eleva quasi des del fons de la sala, mostra unes parets força llises acabant en una espècie de cúpula molt propera a la superfície topogràfica del terreny; aquesta cavitat vertical no presenta cap relació amb fractures ni tampoc amb cap punt d'infiltració preferent en la superfície (Figura 22), malgrat que és evident que actualment la boca de la cova actua com a engolidor de l'escorrentia exterior. Les formes de la xemeneia podrien tenir l'origen en fenòmens de condensació-corrosió (AUDRA *et al.*, 2009c) provocats pel gradient tèrmic diferencial existent entre l'aire humit i calent, que puja des del nivell freàtic, i les parets i sostre de la xemeneia que es mantenen a una temperatura més baixa degut, entre d'altres raons, a la seva proximitat amb la superfície.

Figura 24: Cova de sa Guitarreta. Nivell freàtic localitzat a -58 m de profunditat; l'aigua té una temperatura anormalment alta de més de 27° C. (Foto A. Merino).

Figure 24: Cova de sa Guitarreta. Phreatic level located at -58 m; the water shows an anomalous high temperature of over 27° C. (Photo A. Merino).

Figura 25: Pou de Can Carro. Foto presa en el terç superior de la cavitat on pot veure's clarament el contacte entre les eolianites pliocenes i les calcarenites del Miocè superior, a més de fragments cimentats de roca que formen una bretxa. (Foto A. Merino).

Figure 25: Pou de Can Carro. Photo taken at the upper third of the cave where a clear contact between the Pliocene eolianites and the Upper Miocene calcarenites can be seen, as well as cemented rock fragments resulting in a breccia. (Photo A. Merino).

Figura 26: Pou de Can Carro. Pareds de la cavitat que delimiten una secció circular en planta, corresponents a una antiga cúpula que ha evolucionat pel creixement remuntant de la cavitat. (Foto A. Merino).

Figure 26: Pou de Can Carro. The cave walls delimitate a circular section in plan view, corresponding to a former cupola that evolved due to the ascending growth of the cave. (Photo A. Merino).



## POU DE CAN CARRO (Campos)

Aquesta cavitat –també coneguda amb anterioritat com a Cova de ses Sitjoles– està formada per un conjunt de petits pous connectats entre sí, que acaben desembocant en una sala amb el trespol inclinat que arriba fins el nivell freàtic, situat a uns 40 m de profunditat, on hi ha uns petits llacs amb una bomba extractora d'aigua. La cova sembla estructurada sobre una fractura de direcció NE, i està desenvolupada principalment en calcarenites del Miocè superior, encara que també hi destaquen uns materials arenosos vermells molt compactats que podrien correspondre a uns dipòsits dunars d'edat pliocena, en els que s'hi desenvolupa el terç superior de la cavitat (Figura 25).

L'aigua del llac presenta una temperatura de 23,6° C, la qual cosa indica un gradient tèrmic elevat per al

que caldria esperar en aigües subterrànies de la zona. En el terç superior de la cavitat s'observen unes cúpules arrodonides i *ceiling pockets* que es desenvolupen en el sostre i que arriben fins a 1 m de diàmetre, presentant una planta circular i una secció semiesfèrica. A més, els mateixos pous que formen aquest sector de la cavitat tenen unes parets còncaves que mostren també una secció circular en planta, el que podria indicar que diferents buits de forma esfèrica haurien entrat en coalescència degut a un creixement remuntant dels buits (Figures 26, 27). Bona part d'aquestes cúpules presenten la peculiaritat d'estar desenvolupades en eolianites pliocenes de color vermell, amb alta compactació i un ciment calcari que hauria estat dissolt per processos de meteorització relacionats amb episodis de condensació-corrosió (AUDRA *et al.*, 2009c). Aquests fenòmens estarien provocats per masses d'aire calent i humit que

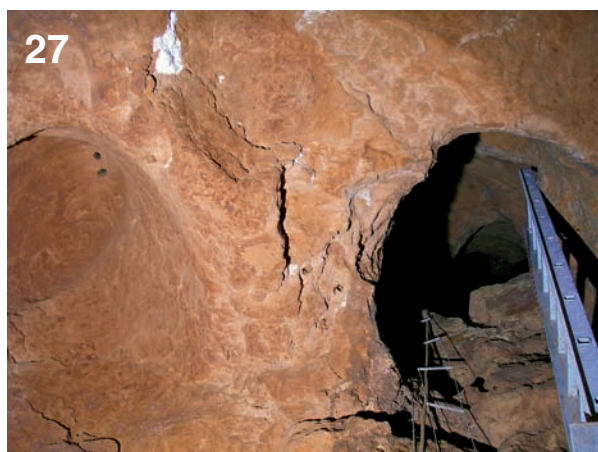


Figura 27: Pou de Can Carro. Cap a l'esquerra s'observa una cúpula amb alguns *ceiling pockets*, desenvolupada a les eolianites pliocenes. A la dreta s'observa l'obertura que comunica amb el conjunt d'antigues cúpules que formen la zona d'accés a la cavitat. (Foto A. Merino).

Figure 27: Pou de Can Carro. To the left a cupola with *ceiling pockets* is visible, being developed in Pliocene eolianites. To the right, the opening that communicates the chain of former cupolas that constitutes the entrance series of the cave. (Photo A. Merino).

Figura 28: Cova de s'Ònix. Conjunt de folia amb un desenvolupament en capes controlat per la geometria de la paret. (Foto A. Merino).

Figure 28: Cova de s'Ònix. Group of folia whose development in layers is controlled by the wall geometry. (Photo A. Merino).

Figura 29: Cova de s'Ònix. Conjunt de folia de color blanc adossades al llarg d'una paret sobreplomada. (Foto A. Merino).

Figure 29: Cova de s'Ònix. Assemblage of white folia spread along an overhanging wall. (Photo A. Merino).





procediria d'un llac situat per sobre del nivell freàtic actual, on la seva existència sembla haver quedat marcada per la presència en la part més alta de la sala del que aparentment seria una regata de corrosió, o *wall notch*. Aquest tipus de meteorització hauria donat lloc a l'acumulació d'arenes i petites partícules de roca que cobreixen el trespol inclinat d'aquesta part de la cavitat.

### COVA DE S'ÒNIX (Manacor)

Aquesta cavitat es troba situada a les rodalies de Portocristo. Presenta un recorregut que supera els 600 m de desenvolupament i està intensament decorada per diferents tipus d'espeleotemes (GINÉS *et al.*, 2007). Està formada per dues sales principals que es comuniquen mitjançant uns passadissos que van estar molt retocats artificialment, quan aquesta cavitat va ser dedicada a l'extracció de pedra ornamental; en el punt més baix s'arriba al nivell freàtic a uns 47 m de profunditat. Una de les particularitats geològiques i espeleogenètiques d'aquesta cova és que el seu desenvolupament afecta tant a les calcarenites del Miocè superior com a les calcàries del basament mesozoic. De fet, la majoria de les cavitats descrites en el present treball estan desenvolupades en calcarenites del neogen post-orogènic (FORNÓS & GELABERT, 1995); en canvi, la secció d'aquesta cova compresa entre el nivell freàtic (situat a -47 m) i la cota -38 m està instal·lada en una roca calcària ben cimentada de color ocre clar que pertany al Juràssic superior (Malm), amb una composició mineralògica bàsicament calcítica, presentant una molt baixa porositat primària (GINÉS *et al.*, 2007).

La cova, fins a data molt recent, no tenia documentada cap forma que la podés classificar dins del grup dels fenòmens endocàrstics relacionats amb l'espeleogènesi hipogènica. Aquest fet hauria passat desapercebut a efectes del present treball si no s'hagués reconegut de forma totalment casual, en una fotografia presa pel nostre company Mateu Fiol, una forma que era similar a les *folia*. Aquest fet va incentivar una nova visita a la cavitat per dur a terme un reconeixement a fons, a la recerca de possibles

Figura 30: Cova de s'Ònix. Detall de les *folia* vistes des de la part inferior; destaca el seu aspecte que recordaria als *gours* invertits juntament amb la presència de petites cristallitzacions de calcita. (Foto A. Merino).

Figure 30: Cova de s'Ònix. Detail of *folia* viewed from below; a remarkable "inverted rimstone" pattern is visible along with the presence of small calcite crystallizations. (Photo A. Merino).

Figura 31: Cova de s'Ònix. Canals de desgasificació (*bubble trails*) de diferents mides generades a partir d'una fractura a la paret sobreplomada. (Foto A. Merino).

Figure 31: Cova de s'Ònix. Bubble trails of different dimensions arising from a fracture on an overhanging wall. (Photo A. Merino).

Figura 32: Cova de s'Ònix. Canal de paret ascendent desenvolupat al llarg d'una paret inclinada. (Foto A. Merino).

Figure 32: Cova de s'Ònix. Rising wall channel developed along an overhanging wall. (Photo A. Merino).



morfologies hipogèniques. Les troballes van superar amb escreix totes les expectatives, i es van centrar principalment en el sector desenvolupat en els materials del Juràssic superior.

Les *folia* han estat trobades en dos punts de la cavitat, a uns 2,5 m per sobre del nivell freàtic actual. Aquests espeleotemes, formats per calcita, es distribueixen al llarg d'una banda de uns 50 cm d'amplada, corresponent a un paleonivell marí de Pleistocè, i ocupen una superfície molt petita. Es tracta d'unes formes que semblen a apilaments de *gours* invertits, d'aspecte acampanat o en forma de didal, disposats subhoritzontalment sobre les parets sobreplomades (AUDRA *et al.*, 2009a) i també sobre altres espeleotemes preexistents (Figures 28, 29). La seva mida és variable, mostrant llocs on les parets presenten unes formes poc marcades a manera de rivets, mentre que en altres les *folia* es mostren com a projeccions individualitzades amb dimensions que van des d'1 a uns 5 cm, essent la seva gruixa inferior a 1 cm. En altres casos existeix una acumulació vertical d'individus adossats a estalactites que, qual torres, pegen des del sostre o les parets sobreplomades de la cavitat. Vistes des de sota, les *folia* més desenvolupades presenten una zona central més o menys còncava mentre que les parts projectades estan constituïdes per conjunts de cristalls de calcita de mida petita (Figura 30); aquest fet dóna a la part inferior un aspecte més irregular i rugós, al contrari del que passa amb la part superior que presenta una superfície més o menys convexa i llisa.

Per altra banda, s'han identificat també interessants formes de dissolució presents sobre parets i sostres. Es tracta d'uns canals de configuració ascendent que en alguns casos surten des de petites fractures, desenvolupant-se al llarg de la paret; la seva longitud pot superar el metre, essent la seva profunditat d'escassos mil·límetres mentre que la seva amplada és molt variable, des d'uns 2 cm fins a casi 20 cm. Aquests canals ascendents són molt evidents degut a que en la majoria dels casos ressalten sobre la paret com a conseqüència de les variacions de color produïdes per la corrosió que ha actuat sobre les parets, que estan recobertes de fins dipòsits o alterades superficialment (Figura 31). Aquests canals podrien correspondre amb els *bubble trails*, (PALMER, 2007) amb una gènesi relacionada amb bombolles de CO<sub>2</sub> produïdes per processos de desgasificació en aigües ascendents d'origen profund (CHIESA & FORTI, 1987; AUDRA *et al.*, 2002; AUDRA *et al.*, 2009a, 2009b, 2009c). Finalment, s'han documentat uns canals de paret de major entitat que els anteriors formant uns solcs de major amplada i molta més profunditat (Figura 32); presenten una secció acanalada i un desenvolupament serpentejant que mostra també una certa juxtaposició de formes que crea morfologies similars a una anastomosis. En el sostre existeixen canals d'aquestes característiques que, partint de zones properes a fractures, es van desenvolupant al temps que varien les seves dimensions; en un primer tram, que té aproximadament 1 m de longitud, el canal presenta una profunditat i amplada d'uns 10 cm, mentre que posteriorment duplica la seva amplada mantenint la profunditat.

## Conclusions

Malgrat que el seu nombre sigui escàs, les investigacions espeleològiques recents han posat de manifest l'existència d'unes poques cavitats mallorquines que contenen evidències relacionades amb una espeleogènesi hipogènica, en el sentit definit per KLIMCHOUK (2007). La pràctica totalitat de les coves d'aquestes característiques es localitza a la plataforma carbonatada del Miocè superior de Llucmajor-Campos, o en les elevacions properes de materials mesozoics estructurats; aquests peculiars fenòmens endocàrstics semblen relacionar-se genèticament amb les anomalies geotèrmiques existents en aquesta zona de l'illa (LÓPEZ & MATEOS, 2006), les quals han propiciat l'existència d'algunes cavitats dotades de formes i sediments no representats en altres localitats de Mallorca. En aquest sentit, la presència de canals ascendents de dissolució així com de cúpules i càmeres esfèriques lligades a processos actius de condensació-corrosió –per citar tan sols qualcunes de les formes més singulars– apunten a l'existència de processos hipogènics de caràcter hidrotermal, els quals han participat activament en la formació d'algunes cavitats actuant conjuntament amb altres mecanismes espeleogenètics com són, per exemple, la carstificació litoral associada a la zona de mescla.

Tan sols una de les cavitats investigades (la Cova de s'Ònix, a les rodalies de Portocristo) es troba fora de l'àrea esmentada; tot i així es tracta d'una localitat interessant que travessa el Miocè superior postorogènic arribant al basament mesozoic plegat. Queda pendent d'establir el caràcter de la recàrrega que es pugui donar en aquest cas a través del basament estructurat de les Serres de Llevant, així com esbrinar si es tracta d'un cas aïllat o si els processos hipogènics són d'un caràcter més generalitzat en la costa oriental de Mallorca.

## Agraïments

Els autors desitgen agrair als companys del Grup Espeleològic de Llubí la seva valuosa ajuda, molt especialment a Antoni Mulet i Guiem Mulet per la seva infatigable companyia en les tasques d'exploració i recollida de dades en les diferents cavitats. També volem expressar el nostre reconeixement a Anders Kristofersson, Santiago García i Toni Croix de la Agrupació Voltors pel seu recolzament. A la Conselleria de Medi Ambient pel seu interès i per haver autoritzat les visites a les cavitats. Punt i a part mereixen Antonio González i la seva dona Nathalie, propietaris de la finca on es troba el Pou de Can Carro per la seva gratificant acollida i el seu permís per accedir a la cavitat.

El present treball queda emmarcat dins del projecte de recerca finançat per Ministerio de Ciencia e Innovación, CGL2010-18616/BTE.

## Bibliografia

- AUDRA, P.; BIGOT, J.Y. & MOCOCHAIN, L. (2002): Hypogenic caves in Provence (France). Specific features and sediments. *Acta Carsologica*, 31 (3): 33-50. Postojna.
- AUDRA, P.; HOBLEA, F.; BIGOT, J.Y. & NOBÉCOURT, J.C. (2007): The role of condensation-corrosion in thermal speleogenesis; Study of a hypogenic sulfidic cave in Aix-les-Bains, France. *Acta Carsologica*, 36 (2): 185-194. Postojna.
- AUDRA, P.; MOCOCHAIN, L.; BIGOT, J.Y. & NOBÉCOURT, J.C. (2009a): The association between bubble trails and folia: A morphological and sedimentary indicator of hypogenic speleogenesis by degassing, exemple from Adaouste Cave (Provence, France). *International Journal of Speleology*, 38 (2): 93-102.
- AUDRA, P.; MOCOCHAIN, L.; BIGOT, J.Y. & NOBÉCOURT, J.C. (2009b): Hypogene cave patterns. In: KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (eds) *Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1: 17-22. Simferopol, Ucraïna.
- AUDRA, P.; MOCOCHAIN, L.; BIGOT, J.Y. & NOBÉCOURT, J.C. (2009c): Morphological indicators of speleogenesis: hypogenic speleogens. In: KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (eds) *Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1: 23-32. Simferopol, Ucraïna.
- BAC-MOSZASWILL, M. & RUDNICKI, J. (1978): On the possible hydrothermal origin of the Dziura Cave (Tatra Mts.). *Kras i Speleologia*, 2 (XI): 84-91. Katowice.
- CHIESA, M. & FORTI, P. (1987): Studio morfologico di due nuove cavita carsiche dell'Iglesiente (Sardegna Sud occidentale). *Ipoantropo*, 4: 40-45. Reggio Emilia, Italia.
- CURL, R.L. (1966): Cave conduit enlargement by natural convection. *Cave Notes*, 8(1): 2-6. Castro Valley, California.
- DREYBRODT, W.; GABROVSEK, F. & PERNE, M. (2005): Condensation corrosion: a theoretical approach. *Acta Carsologica*, 34 (2): 317-348. Postojna.
- DUBLYANSKY, Y. (1980): Hydrothermal karst in the alpine folded belt of the southern parts of U.S.S.R. *Kras i Speleologia*, 3: 18-36. Katowice.
- DUBLYANSKY, Y. (2000): Hidrotermal speleogenesis: its setting and peculiar features. In KLIMCHOUK, A.; PALMER, A.N.; FORD, D.C. & DREYBRODT, W. (eds) *Speleogenesis: Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 292-297. Huntsville, USA.
- DUBLYANSKY, Y. (2005): Hydrothermal caves. In: CULVER, D.C. & WHITE, W.B. (eds) *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Academic press. 300-305. Burlington, USA.
- DUBLYANSKY, V.N. & DUBLYANSKY, Y.V. (2000): The role of condensation in karst hydrogeology and speleogenesis. In: KLIMCHOUK, A.B.; PALMER, A.N.; FORD, D.C. & DREYBRODT, W. (eds) *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 100-112. Huntsville, USA.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. (2007): *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd. 562 pàgs. Chichester, UK.
- FORNÓS, J.J. & GELABERT, B. (1995): Litologia i tectònica del carst de Mallorca. In: GINÉS, A. & GINÉS, J. (eds.) *El carst i les coves de Mallorca*. *Endins*, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 27-43. Palma de Mallorca.
- FORNÓS, J.J.; MERINO, A.; GINÉS, J.; GINÉS, A. & GRÀCIA, F. (2011): Solutional features and cave deposits related to hypogene speleogenetic processes in a littoral cave of Mallorca Island (western Mediterranean). *Carbonates and Evaporites*, 26 (1): 69-81.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes històrics y espeleogenéticos. *Endins*, 17-8: 5-20. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (2007): Eogenetic karst, glacioeustatic cave pools and anchialine environments on Mallorca Island: a discussion on coastal speleogenesis. *International Journal of Speleology*, 26 (2): 57-67. Bologna, Itàlia.
- GINÉS, J. (1995): L'Endocast de Mallorca: Els mecanismes espeleogenètics. *Endins*, 20: 71-86. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2006): La Cova Nova de Son Lluís (Porreres, Mallorca). Notes sobre aspectes històrics i geoespeleològics. *Endins*, 29: 5-24. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2009): Proposta d'una nova classificació morfo-genètica de les cavitats càrstiques de l'illa de Mallorca. *Endins*, 33: 5-18. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; FORNÓS, J.J.; TRIAS, M.; GINÉS, A. & SANTANDREU, G. (2007): Els fenòmens endocàrstics de la zona de Ca n'Olesa: La Cova de s'Ònix i altres cavitats veïnes (Manacor, Mallorca). *Endins*, 31: 5-30. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; GRÀCIA, F. & MERINO, A. (2008): Noves observacions sobre l'espeleogènesi en el Migjorn de Mallorca: els condicionaments litològics en alguns grans sistemes subterrànies litorals. *Endins*, 32: 49-79. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; MERINO, A. & GRÀCIA, F. (2009a): On the role of hypogene speleogenesis in shaping the coastal endokarst of southern Mallorca (Western Mediterranean). In: KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (eds.) *Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1: 91-99. Simferopol, Ucraïna.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; MERINO, A. & GRÀCIA, F. (2009b): About the genesis of an exceptional coastal cave from Mallorca island (Western Mediterranean). The lithological control over the pattern and morphology of Cova des Pas de Vallgornera. In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15<sup>th</sup> Int. Congress Speleol.*, 1: 481-487. Kerrville, U.S.A.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J.; GAMUNDÍ, P.; CLAMOR, B.; POCOVÍ, J. & PERELLÓ, M.A. (2009a): Les descobertes subaquàtiques a la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca): Història i descripció dels descobriments, hidrologia, espeleotemes, sediments, paleontologia i fauna. *Endins*, 33: 35-72. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J.; GAMUNDÍ, P.; CLAMOR, B. & POCOVÍ, J. (2009b): Morfologies de corrosió a la part sumergida de la Cova des Pas de Vallgornera. Sector Antic, Sector de Gregal i Sector de les Grans Sales. *Endins*, 33: 73-98. Palma de Mallorca.
- HILL, C. & FORTI, P. (1997): *Cave minerals of the world*. National Speleological Society, 238 pgs. Huntsville.
- KLIMCHOUK, A.B. (2007): *Hypogene speleogenesis: hydrogeological and morphogenetic perspective*. National Cave and Karst Research Institute. Special paper 1. 106 pàgs. Carlsbad. New Mexico.
- KLIMCHOUK, A.B. (2009): Morphogenesis of hypogenic caves. *Geomorphology*, 106: 100-117.
- LÓPEZ, J.M.; MATEOS, R.M. & BALLESTER, A. (2004): Aportaciones del sondeo de investigación geotérmica Lluís Moragues al modelo de funcionamiento hidrogeológico de las aguas termales de la plataforma de Llucmajor (Mallorca). *VII Simposio de Hidrogeología*. Asociación Española de Hidrogeólogos. 2: 379-388. Zaragoza.
- LÓPEZ, J.M. & MATEOS, R.M. (2006): Control estructural de las anomalías geotérmicas y la intrusión marina en la plataforma de Llucmajor y la cubeta de Campos (Mallorca). *Las aguas subterráneas en los países mediterráneos*. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 17: 379-613. Madrid.
- MERINO, A. (2006): Espeleotemas poco frecuentes y morfologías de corrosión hallados en la Cova des Pas de Vallgornera. *Endins*, 30: 49-70. Palma de Mallorca.
- MERINO, A. & FORNÓS, J.J. (2010): Los conjuntos morfológicos de flujo ascendente (Morphologic Suite of Rising Flow) en la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 34: 87-102. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2008): La Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca): alcanza los 55 kilómetros de desarrollo topográfico. *Endins*, 32: 33-42. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; FORNÓS, J.J. & ONAC, B.P. (2009a): Preliminary data on mineralogical aspects of caves rims and vents in Cova des Pas de Vallgornera, Mallorca. In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15<sup>th</sup> Int. Congress Speleol.* 1: 307-311. Kerrville, U.S.A.
- MERINO, A.; FORNÓS, J.J. & ONAC, B.P. (2009b): Datos preliminares sobre la mineralogía de los precipitados asociados a los respiraderos y toberas existentes en la Cova des Pas de Vallgornera. *Endins*, 33: 99-104. Palma de Mallorca.
- MYLROIE, J.E. & MYLROIE, J.R. (2009): Diagnostic features of hypogenic karst: is confined flow necessary?. In: STAFFORD, K.W.; LAND, L. & VENI, G. (eds.) *NCKRI Symposium 1, Advances in hypogene karst studies*. 12-26. Carlsbad, U.S.A.
- OSBORNE, R.A.L. (2004): The troubles with cupolas. *Acta Carsologica*, 33: 29-36. Postojna.
- PALMER, A.N. (1991): Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*, 103: 1-21.
- PALMER, A.N. (2000): Hydrogeological control of cave patterns. In: KLIMCHOUK, A.B.; FORD, D.C.; PALMER, A.N. & DREYBRODT, W. (eds.) *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 77-90. Huntsville, USA.
- PALMER, A.N. (2007): *Cave Geology*. Cave books. 454 pàgs. Dayton, Ohio.
- PALMER, A.N. & PALMER, M.V. (2000): Hydrochemical interpretation of cave patterns in the Guadalupe Mountains, New Mexico. *Journal of Cave and Karst Studies*: 62 (2): 91-108.
- RUDNICKI, J. (1978): Role of convection in shaping subterranean karst forms. *Kras i Speleologia*, 2 (XI): 92-100. Katowice.